



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

PUUN JA PALATURPEEN SEOSPOLTTO ARINAKATTILOISSA

Korhonen Jouko Aulis

Ohjaaja: Professori Mika Ruusunen

PROSESSI- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

PROSESSITEKNIikka

Kandidaatintyö

Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Prosessitekniiikan koulutusohjelma		Pääaineopintojen ala (lisensiaatintyö)	
Tekijä Korhonen Jouko		Työn ohjaaja yliopistolla Ruusunen Mika, professori	
Työn nimi Puun ja palaturpeen seospoltto arinakattiloissa.			
Opintosuunta Prosessitekniiikka	Työn laji Kandidaatintyö	Aika Toukokuu 2019	Sivumäärä 36 s., ei liitteitä
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää nykyisin käytössä olevia puun ja palaturpeen seospoltton menetelmiä. Esimerkkitapauksena on käytetty Tuusniemen Aluelämpö Oy:n lämpökeskusta, joka tuottaa kaukolämpöä Tuusniemen kunnan keskustaajamassa. Tuusniemen Aluelämpö Oy:n Tuusniemen kuntakeskuksessa omistaman ja sen suurimmille kiinteistöille toimittaman kaukolämmön tuotannossa on käytetty paikallisen metsänhoitoyhdistyksen tuottamaa ja lämpökeskukselle toimittamaa metsähaketta. Hake on pääosin ollut metsän hakkuussa syntynyttä ns. hakkuutähdehaketta. Hake on koostunut eri puulajien hakkuutähteistä. Näitä puulajeja ovat pääsääntöisesti olleet kuusi, mänty, koivu ja leppä.</p> <p>Opinnäytetyö selvittää palaturpeen käyttöä hakkeen lisänä lämpökeskuksen seospolttoaineena lämpökeskuksen tuottaman kaukolämmön hinnan pitämiseksi jatkossakin kustannustehokkaana.</p> <p>Työssä pohdittiin mahdollisia kehityssuuntia puun ja palaturpeen seospoltolle Tuusniemen laitoksen kokoisissa lämpökeskuksissa. Lisäksi työssä kartoitettiin seikkoja, joita tuli jatkossa vielä selvittää lämpöyhtiön polttoainehuollon ja käyttövarmuuden turvaamiseksi.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuusselvityksenä, jossa tietoja haettiin jo julkaistuista tutkimuksista ja artikkeleista sekä eri tietokannoista.</p> <p>Työn tuloksena päädyttiin siihen lopputulokseen, että nykyisen ympäristölainsäädännön voimassa ollessa palaturve on käyttökelpoinen seospolttoaine Tuusniemen lämpökeskuksessa. Kuitenkin tänä päivänä on lukuisten kansallisten ja kansainvälisten tahojen näkemyksenä esitetty, että turpeen käytöstä tulee luopua vuoteen 2035 mennessä. Tämän johdosta tulee palaturpeen käyttöä ainoana metsähakkeen seospolttoaineena varautua lähitulevaisuudessa korvaamaan esimerkiksi puun kuorella tai muulla ei-fossiiliseksi luokitellulla seospolttoaineella.</p> <p>Työn tuloksia on mahdollista käyttää Tuusniemen Aluelämpö Oy:n lämpökeskuksen polttoainetalouden tulevaisuuden suunnittelussa sekä polttoainehuollon varmistamisessa.</p>			
Avainsanat			
Kaukolämpö, lämpökeskus, arinapoltto, puupolttoaine, palaturve.			

ABSTRACT FOR THESIS

University of Oulu Faculty of Technology

Degree Programme (Bachelor's Thesis, Master's Thesis) Process Engineering		Major Subject (Licentiate Thesis)	
Author Korhonen Jouko		Thesis Supervisor Ruusunen Mika, Professor	
Title of Thesis Combustion of wood and sot peat in a grate boiler.			
Major Subject Process Engineering	Type of Thesis Bachelor's Thesis	Submission Date May 2019	Number of Pages 36
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to find out the current methods of wood and sot peat mixing. Tuusniemi Aluelämpö Oy heating plant, which produces district heat in the central district of Tuusniemi commune, is used as an example in the thesis. Tuusniemen Aluelämpö Oy produces district heat in Tuusniemi Municipal Center and delivers heat to its largest properties. The heating plant has been utilizing forest chips as a fuel, produced and supplied by the local forest management association. These forest chips have mainly till now been made up of chips from different tree species including spruce, pine, birch and alder.</p> <p>The thesis explores the use of peat as a supplement to the wood chips as a blend fuel for the heating plant in order to restrict the costs of district heating produced by the heating plant in the future.</p> <p>As the final result of the thesis, it is suggested to consider a possible developmental test for wood and sot peat mixing in Tuusniemi-sized heating plants. At the same time, the issues that should be clarified in the future in terms of fuel company fuel management and security are discussed and documented.</p> <p>The thesis was carried out as a literature review for which information was sought from studies and articles already published and from different databases.</p> <p>As a result of the work, it was concluded that when the current environmental legislation is in force, sot peat is a useful mixture fuel in the Tuusniemi heating plant. However, many national and international institutions have argued that the use of peat should be abandoned by 2035. As a result, preparations should be made for replacement of peat pellets as the only wood chips blend fuel by, for example, wood park or other non-fossil blended fuel.</p> <p>The results of the work are applicable in planning the future of fuel economy of Tuusniemi Aluelämpö's heating plant and in ensuring the fuel supply.</p>			
<p>Additional Information</p> <p>District heating, heating plant, grate burning, wood fuel, sot peat.</p>			

ALKUSANAT

Tämän kandidaatintyön aiheena on puun ja palaturpeen seospoltto arinakattiloissa. Työn tavoitteena oli selvittää käytössä olevia seospolton menetelmiä ja lopuksi pohtia tulevaisuuden kehityssuuntia puun ja palaturpeen seospoltolle.

Kandidaatintyö on tehty Oulun yliopiston teknisen tiedokunnan prosessi- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelmassa lokakuun 2018 ja huhtikuun 2019 välisenä aikana.

Työn ohjaajana ja tarkastajana on toiminut professori Mika Ruusunen Oulun yliopiston teknillisestä tiedekunnasta. Häntä kiitän erityisesti saamistani hyvistä neuvoista ja kommentteista työni suhteen. Arvokkaita tietoja on työn edetessä antanut myös asiakkuuspäällikkö Jari Ojala Adven Oy:stä. Hänelle siitä suuret kiitokset.

Lopuksi kiitän perhettäni kaikesta siitä tuesta ja kannustuksesta mitä olen saanut työtä tehdessäni vastaanottaa.

Tuusniemellä 09.05.2019

Jouko Korhonen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	6
2 YLEISTÄ	8
2.1 Tuusniemen lämpökeskuksen polttoprosessin yleiskuvaus	8
2.2 Tuusniemen lämpökeskuksen nykyinen polton tekniikka	10
2.3 Polttoaineiden hintakehitys	12
3 PUUPOLTTOAINEEN ARINAPOLTTO	15
3.1 Yleistä	15
3.2 Arinatyyppit	16
3.2.1 Pyörivä kekoarina	16
3.2.2 Kiinteä tasoarina	17
3.2.3 Kiinteä viistoarina	17
3.2.4 Mekaaninen viistoarina	18
3.2.5 Porrasarina	18
4 PALATURPEEN ARINAPOLTTO	19
4.1 Yleistä	19
4.2 Palaturpeen käyttöä ohjaavat säädökset ja ohjaustoimet	22
4.3 Arinatyyppit palaturpeen poltossa	23
5 PUUN JA PALATURPEEN SEOSPOLTTO	24
5.1 Yleistä	24
5.2 Metsähakkeen ja palaturpeen polttoaineominaisuuksia	25
5.3 Käytössä olevia hakkeen ja palaturpeen sekoitustapoja	28
5.4 Seostekniikka sijoitettuna Tuusniemen lämpökeskukselle	28
6 Johtopäätökset	30
7 Yhteenveto	35
8 Lähdeluettelo	36

1 JOHDANTO

Valtaosa maailmassa käytettävästä energiasta tuotetaan polttoprosesseilla. On ennustettu, että polttoprosessin merkitys energiantuotannossa tulee säilymään edelleen myös tulevaisuudessa. Polttoprosessi tuottaa Suomessa arviolta (v. 2002) noin 40 % sähköstä ja noin 60 % energiasta. Tärkeimpänä nykyaikaiselle polttoprosessille asettavista tavoitteista on päästöjen vähentäminen korkeimman mahdollisen hyötysuhteen sekä lämpölaitoksen toimintavarmuuden ohella. (Raiko et al. 2002, s. 60)

Palaminen voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen. Vaiheita ovat polttoaineen kuivuminen, haihtuvien kaasujen vapautuminen ts. pyrolyysi, haihtumisessa syntyvien kaasujen syttyminen ja palaminen sekä koksijäännöksen hapettuminen. Esimerkiksi puupolttoaineen kuivuessa siitä vapautuu ensin vesihöyryä, kuivuneesta polttoaineesta vapautuu prosessin edetessä kaasumaisia palavia yhdisteitä, jotka syttyvät ja palavat. Tässä vaiheessa jäljellä on puun koksi, joka puolestaan palaa ja jäljelle jää vain tuhka (Raiko et al. 2002, s. 60-61). Suurelle hiukkaselle edellä selostetut eri vaiheet voivat tapahtua samaan aikaan. Palamisen ylläpitämiseksi tulee seuraavien seuraavan kolmen edellytyksen olla samaan aikaan läsnä. Ne ovat polttoaine, happi ja riittävä lämpötila. Mikäli joku edellä mainituista ei ole palamisprosessissa läsnä, niin palaminen loppuu. Arinapoltossa, kuten muissakin palamisprosesseissa, palamisen tehoa voidaan parhaiten säätää muuttamalla käytettävän polttoaineen virtaamaa.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää nyt käytössä olevia puun ja palaturpeen (seos)polton menetelmiä sekä lopputulemana pohtia puun ja palaturpeen seospolton kehityssuuntia Tuusniemen tyyppisen lämpökeskuksen arinakattilassa. Kyseinen lämpökeskus tuottaa pelkästään lämpöä Tuusniemen kuntakeskuksessa sijaitseville asuin-, toimisto- ja liikekiinteistöille. Tuusniemen lämpökeskus sisältää sekä biopolttoainetta eli pääasiassa metsärankahaketta käyttävän KPA-kattilalaitoksen että kevyttä polttoöljyä käyttävän erillisen kattilalaitoksen. Laitoksia voidaan ajaa sekä erikseen että rinnakkain. Lämpökeskuksen yhteenlaskettu teho on 6 MW, josta tarkastelun kohteena olevan biolaitoksen nimellinen teholuokka on 2,0 MW. Laitosta on testiajossa ajettu 2,5 MW:n teholla.

Työn aihe on valittu, koska kandidaatintyön jatkeena tehtävän diplomityön tavoitteena tulee olemaan tarkemmin selvittää mahdollisuutta Tuusniemen Aluelämpö Oy:n Tuusniemellä omistaman lämpökeskuksen polttoprosessin kehittämistä nykyisen pelkän puupolttoaineen arinapolton sijaan esimerkiksi puun ja palaturpeen seospolttoon. Tällöin tavoitteena on seospolton mukanaan tuoma taloudellinen hyöty lämpöyhtiölle, mikä mahdollistaisi nykyistä edullisemman energian tuottamisen ja toimittamisen lämpöyhtiön asiakkaille.

Selvityksessä tarkastellaan puupolttoaineen osalta Tuusniemellä nyt käytössä olevaa (metsä)haketta sekä turpeen osalta palaturvetta, koska palaturvetta on alustavasti ajateltu jatkossa käytettävän Tuusniemen laitoksessa yhdessä hakkeen kanssa.

Selvityksen kohteena olevaa polttoketjua tarkastellaan tässä työssä edellä mainittuja polttoaineita ja niiden siirtoa polttoainesiiloista nykyisin käytössä olevan kiuruvetisen Sermet Oy:n vuonna 1997 valmistaman biokattilan pyörivälle kekoarinalle. Kattilalaitosta on myöhemmin saneerattu muun muassa vuonna 2013.

2 YLEISTÄ

2.1 Tuusniemen lämpökeskuksen polttoprosessin yleiskuvaus

Tuusniemen Aluelämpö Oy:n omistama lämpökeskus on rakennettu useassa eri vaiheessa. Kaukolämpöä on Tuusniemen kuntakeskuksessa ollut mahdollista käyttää mm. kiinteistöjen lämmitykseen sekä lämpimän käyttöveden tuottamiseen 1980-luvun puolivälistä lähtien. Tuolloin Neste Lämpö Oy rakensi taajaman pohjoislaidalle raskasta polttoöljyä polttoaineenaan käyttävän lämpökeskuksen teholtaan 2 MW. Tuusniemen kunta rakensi puolestaan kaukolämmön runkoverkoston ensimmäisen vaiheen, jonka pituus oli noin yksi kilometri. Lämpökeskuksen omisti aluksi Neste Lämpö Oy, joka myi tuottamansa lämpöenergian Tuusniemen kunnalle. Energia mitattiin lämpökeskuksen ulkoseinän kohdalla. Tuusniemen kunta myi ostamansa energian edelleen omistamansa kaukolämpöverkoston kautta kuluttajakiinteistöille, joissa myytävä energia puolestaan mitattiin. Kaukolämpöön olivat tuolloin liittyneet muutamat suurimmat kuntakeskuksen kiinteistöt. Näihin kuului esimerkiksi kunnan omistama koulukeskus. Alussa lämpökeskus käytti siis vain raskasta polttoöljyä.

Tämän jälkeen lämpökeskus ja sen kaukolämpöverkosto laajeni vuosien kuluessa vähän kerrassaan. Suurin muutos kaukolämmön tuotannossa tapahtui kuitenkin vuonna 1997, jolloin Tuusniemen Aluelämpö Oy perustettiin. Yhtiön omistajiksi tulivat Neste Lämpö Oy (2/5), Keski-Suomen Puukymppit Oy (1/5) ja Tuusniemen kunta (2/5). Yhtiö osti kunnan omistaman kaukolämpöverkoston ja Neste Lämpö Oy:n omistaman öljylämpökeskuksen. Perustettu yhtiö rakensi samassa yhteydessä uuden biolämpökeskuksen, johon KPA-kekoarinakattilan toimitti Sermet Oy. Pääasiallisena polttoaineena käytettiin Keski-Suomen Puukymppit Oy:n rakennetun lämpökeskuksen vieressä sijainneen sahan tuottamaa kuorijätettä. Kuorijäte oli laadultaan kovin märkää ja pitkäa. Kuori siirtyi huonosti polttoaineen kuljetinjärjestelmässä. Kuorijätteen tukipolttoaineena jouduttiin käyttämään aina jotakin toista kuivempaa biopolttoainetta.

Tänä päivänä Tuusniemen Aluelämpö Oy:n omistavat Adven Oy ja Tuusniemen kunta yhtä suurin osuuksin. Lämpökeskuksen biopolttoaineena on nykyisin metsähake, jonka toimittaa Kallaveden metsänhoitoyhdistys paikallisista metsistä. Raskas polttoöljy

(POR) vaihdettiin kevyeen polttoöljyyn (POK) 2017. Öljykattiloita käytetään pääasiassa kulutushuippujen tasaamiseen talvikaudella sekä biokattilan huoltoseisokkien aikaan kesällä.

KPA-lämpökeskuksen polttoprosessissa biopolttoaine siirretään traktorilla tai pyöräkuormaajalla ns. kattilahallin välittömään läheisyyteen yhtiön tontin alatasanteelle rakennettuun kaksiosaisella ketjuvetoisilla kolakuljettimella varustettuun polttoaineen vaakasiiloon. Pintakytkin, joka sijaitsee polttoaineen kattilan syöttösuppilossa, ohjaa polttoainesiilosta tulevaa polttoaineen kolakuljetinta. Tämä kytkin käynnistää tai pysäyttää kuljettimen tarpeen mukaan. Syöttösuppilosta niin sanottu Stoker-ruuvi siirtää polttoaineen kattilan etupesässä sijaitseville mekaanisesti pyörivälle arinaraudoille.

Polttotapana on kattilan etupesässä tapahtuva arinapoltto, jossa polttoaine syötetään jäähdytetyssä etupesässä olevan arinan keskelle sen alapuolelta. Polttoaineen tullessa arinalle alakautta, ei syötettävä polttoaine häiritse palavaa vyöhykettä ja palaminen on sen vuoksi tasaista.

Etupesän muodostaa levyrakenteinen jäähdytetty ja tulenkestävällä massauksella vuorattu seinä, jonka ulkopuolella on eristys ja pintapellitys. Tulipesä muodostaa kaasutiiviin yhteen hitsatun rakenteen. Etupesän pyöreä muoto tekee siitä rakenteellisesti vahvan ja polttoteknisesti tehokkaan. Palamisilma johdetaan primääri- ja sekundääripuhaltimilla erillisiä kanavia käyttäen etupesään arinoiden alle sekä sekundääriwyöhykkeeseen. Puhaltimet on varustettu inverttereillä eli taajuusmuuttajilla, joilla puhaltimien tuottamaa syöttöilman määrää ohjataan.

Lämpölaitoksen toimintaa ohjaa ja säätää itsenäisesti ohjelmoitava logiikka sovellusohjelmiston mukaisesti. Lisäksi laitosta voidaan ajaa käsiohjauksella lämpökeskuksen valvomosta käsin sekä Adven Oy:n Vantaalla sijaitsevasta valvomosta käsin.

2.2 Tuusniemen lämpökeskuksen nykyinen polton tekniikka

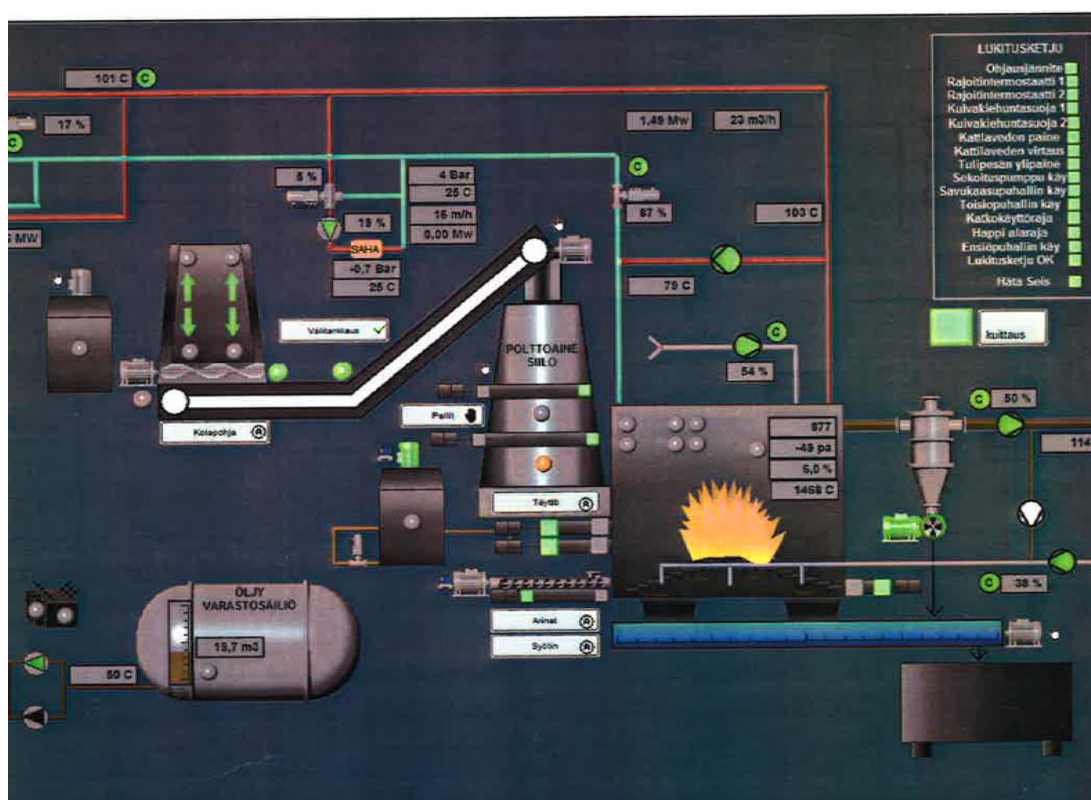
Kaukolämmön tuotannossaan Tuusniemen Aluelämpö Oy käyttää kiuruvetisen Sermet Oy:n toimittamaa 2 MW:n tehon omaavaa KPA-kattilalaitosta. Laitos on alun perin valmistunut vuonna 1992. Laitteisto pitää sisällään polttoainesiilon, polttoaineen syöttöjärjestelmän, etupesän, kattilan konvektio-osan sekä tuhkanpoistojärjestelmän. Lämpökeskukseen kuuluu varavoimakoneen lisäksi myös kaksi öljykattilaa ja lämmön talteenottojärjestelmän. Laitos käyttää polttoaineenaan pääasiassa metsähaketta. KPA-kattila on varustettu automaattisella polttoaineen syötöllä ja tuhkan poistolla.

Metsähake toimitetaan lämpökeskuksen ulkopuolella sijaitsevaan erilliseen varastosiilon. Siilosta hake siirretään kolakuljettimella kattilan syöttösuppilon. Järjestelmä sisältää syöttösuppilon lisäksi kaksi hydrauliikalla toimivaa polttoainesyötön sulkupeltiä. Pellit eivät voi olla koskaan avoinna yhtä aikaa. Syöttösuppilossa olevan polttoaineen määrää ja polttoaineen kuljettimien toimintaa ohjaa kaksi polttoainepinnan vahtia. Syöttösuppilon on asennettu myös termostaatti. Sen tarkoitus on laukaista automaattinen sammutusjärjestelmä, mikäli tuli uhkaa siirtyä vastavirtaan kattilasta suppilon. Syöttösuppilosta polttoaine siirtyy Stoker-ruuvilla kattilan alakautta kiertokekoarinalle, jossa varsinainen polttoaineen palaminen tapahtuu. Palamisessa syntyvät savukaasut kulkevat kattilan konvektio-osaan, jossa lämpö siirtyy kattilaveteen ja savukaasut virtaavat savukaasupuhdistimien kautta savupiippuun ja edelleen ulos.

Polttoaineen kosteus vaikuttaa polttoaineen laatuun ja edelleen energiasisältöön ja samalla polttoaineesta saatavaan tehoon merkittävästi. Tuore puu on kosteaa ja sen vesipitoisuus voi vaihdella rajoissa 40 – 60 %. Puun kosteus riippuu myös sen iästä. Puun suuresta vesipitoisuudesta johtuu, että tuore puupolttoaine sopii vain suurten laitosten polttoaineena käytettäväksi.

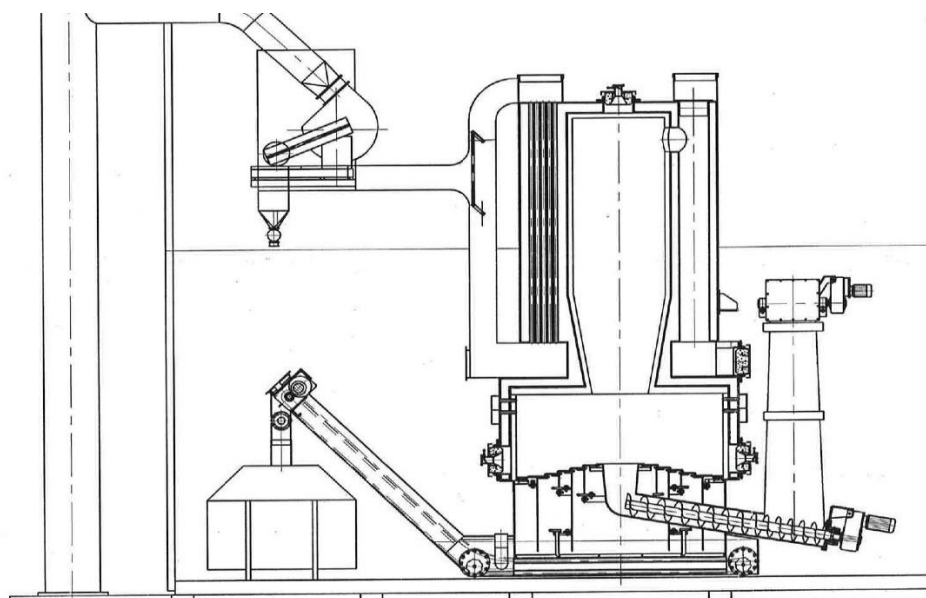
Palamistuotteena syntyy myös tuhkaa, joka putoaa kattilan pudotussuppiloiden kautta kattilan alapuolella sijaitsevan tuhka-altaan veteen ja sammuu siinä. Altaasta sammunut märkä tuhka siirretään kolakuljettimella varastokonttiin ja edelleen hyötykäyttöön metsälannoitteeksi. Tuhkaa muodostuu hakkeen poltosta vuositason noin 10 tonnia.

Elintarviketurvallisuusvirasto on 31.03.2009 valvontapäätöksellään 2009-00202-001 todennut lämpökeskuksen polttoprosessissa syntyvän tuhkan olevan puunpolton voimalaitostuhkaa, joka MMM:n asetuksen (12/07) mukaan voi tyyppinimeltään olla peltotuhkaa. Tuhkaa voi edellä mainitun päätöksen mukaan käyttää lannoitevalmisteena maa- ja puutarhataloudessa, maisemoinnissa, viherrakentamisessa ja metsätaloudessa. Tuhka toimitetaan nykyään rakeistuksen jälkeen hyötykäyttöön metsien lannoitukseen. Kuvassa 1 on esitetty Tuusniemen Aluelämpö Oy:n omistaman lämpökeskuksen bio-kattilan prosessikaavio.



Kuva 1. Tuusniemen lämpökeskuksen prosessikaavio. Julkaistu Adven Oy:n luvalla.

Kuvassa 2 nähdään läpileikkaus Tuusniemen lämpökeskuksen kekoarinakattilasta, joka on valmistettu Sermet Oy:n toimipisteessä Kiuruvedellä. Kattilassa poltetaan pääasiassa metsä- ja hakkuutähdehaketta.



Kuva 2. Leikkaus Tuusniemen KPA-kattilasta, Sermet Oy 1997. Julkaistu Adven Oy:n luvalla.

2.3 Polttoaineiden hintakehitys

Kansainvälisen ilmastopolitiikan perustana toimivat IPCC:n eli hallitusten välisen ilmastopaneelin laatimat raportit. IPCC on YK:n alainen toimielin, joka on muodostettu YK:n jäsenmaiden nimeämistä edustajista sekä tutkijoista. Toimielin kokoaa kaikkein tärkeimmän ilmastotutkimuksen eikä se suorita omia tutkimuksia. Viimeisin 18.10.2018 julkaistu raportti on laadittu 90 kirjoittajan toimesta ja se perustuu noin 6 000 tutkimukseen. Raporttia on kommentoitu yli 40 000 kertaa ennen kuin se on julkistettu. Julkaistu raportti on kaikkiaan kuudes vuonna 1988 perustetun IPCC:n ilmastoraportti. Raportissa luetellaan keinoja maapallon lämpenemisen hidastamiseksi. Raportin keskeinen sisältö liittyy maapallon lämpenemisen pysäyttämiseen 1,5 asteeseen. Maapallon lämpötila on noussut yhden asteen esiteollisesta ajasta. Nousu johtuu ihmisen toiminnallaan aiheuttamista päästöistä ilmaan. Raportin mukaan toimiin lämpenemisen pysäyttämiseksi on ryhdyttävä välittömästi. Päästöjä täytyy pienentää reilusti jo heti lähitulevaisuudessa siten, että kokonaan päästöttömyys saavutetaan 2050 mennessä. Nettopäästöllä tarkoitetaan, että kuinka paljon hiilidioksidipäästöjä muodostuu siihen nähden, mitä luonto niitä sitoo. Metsät ovat tärkein hiilinielu. Paras

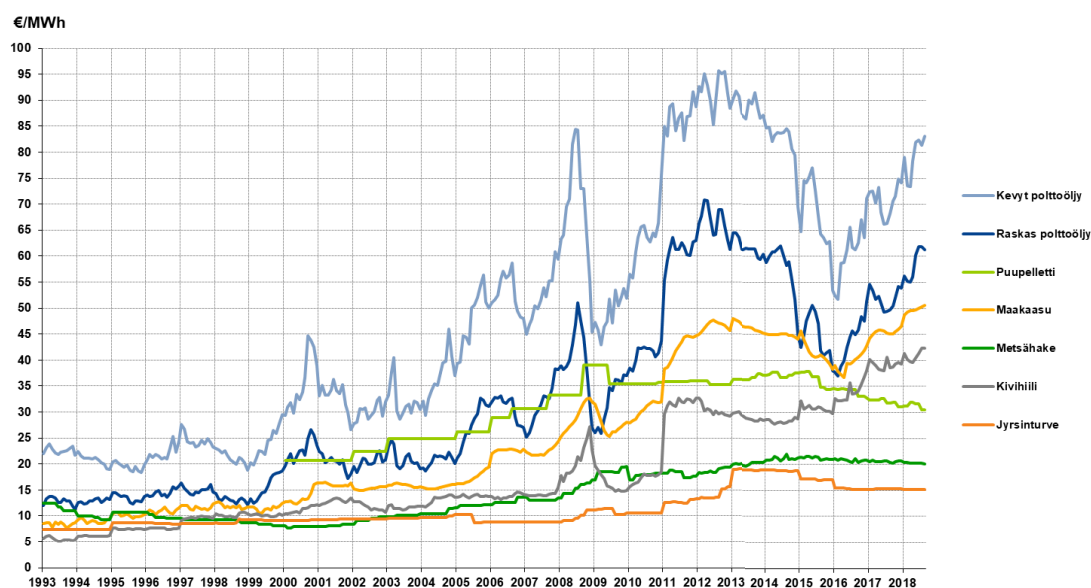
ratkaisu päästöttömyyden tavoittamiseksi on niin sanottujen uusiutuvien energiamuotojen käytön lisääminen.

Hiilinielulla tarkoitetaan metsien muodostamia hiilivarastoja. Metsät sitovat enemmän hiilidioksidia kuin mitä niistä vapautuu ilmakehään. Metsien hakkaaminen ja sitä kautta myös hakkeen käyttö polttoaineena pienentää hiilinieluja. Suomessa panostetaan parhaillaan biotalouteen maan hallituksenkin ajaessa yhä laajempia hakkuita. Kyseessä on siis poliittinen päätös. Ympäristötekijät ja –lainsäädäntö vaikuttavat lämmöntuotannossa Tuusniemellä tulevana vuosina käytettävien polttoaineiden ja kaukolämmön hintaan.

Alla olevassa kuvassa 3 esitetyt polttoaineiden hinnat [€/MWh] sisältävät valmisteverot ja huoltovarmuusmaksun, mutta eivät arvonlisäveroa. Hinnat on esitetty seuraavilla parametreilla:

Kevyt polttoöljy:	Kesälaadun hinta pienkäyttäjien säiliöön toimitettuna.
Raskas polttoöljy:	Pienehköjen lämpölaitosten ja vastaavien käyttäjien maksama keskimääräinen hinta.
Maakaasu:	Maakaasutariffin M2017 mukainen tyyppikäyttäjähinta: 1.000.000 MWh/a ja 6000 h/a.
Kivihiili:	Hinta rannikkolaitoksella; liikennemaksu sekä purkaus- ja varastointikustannukset sisältyvät hintaan, mutta ei velvoitevaraston kustannuksia eikä kenttäkustannuksia.
Jyrsinturve:	Suuren käyttäjän toimitushintoja, keskikuljetusmatka 100 km.
Metsähake:	Keskimääräinen toimitushinta suurelle käyttäjälle.
Puupelletti:	Irtopelletin keskimääräinen toimitushinta suurelle käyttäjälle, kuljetusmatka 100 km.

Polttoaineiden hintakehitys



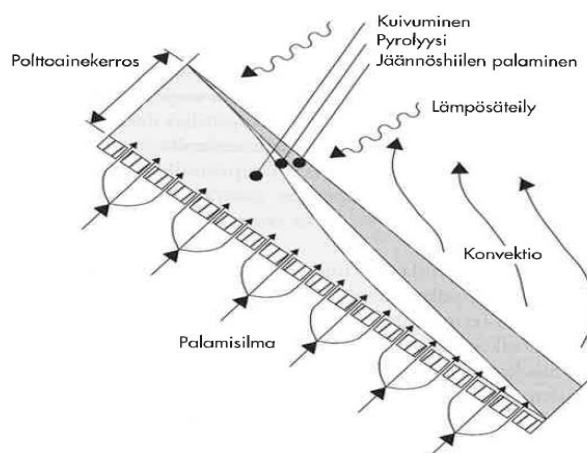
Kuva 3. Polttoaineiden nimellishintoja lämmöntuotannossa vuosina 1993 – 2018, Bioenergialehti. Julkaistu Adven Oy:n luvalla.

3 PUUPOLTTOAINEEN ARINAPOLTTO

3.1 Yleistä

Arinalla tarkoitetaan kattilan pohjalle asennettua polttoalustaa. Tämän päällä polttoaine palaa liikkuvana (liikkuva arina) tai paikallaan olevana (kiinteä arina) kerroksena. Poltto arinalla on kattiloiden vanhin kiinteille polttoaineille toteutettu polttotapa. Arinalla polttoaine läpikäy palamisen kolme vaihetta, joita ovat kuivuminen eli pyrolyysi sekä ns. haihtuvien kaasujen ja jäännöshiilen palaminen. Arinapolton toimivia ratkaisuja on olemassa mm. puulle, hiilelle ja turpeelle. Arinatyypit voidaan jakaa esimerkiksi käytettävän polttoaineen ja kattilan koon mukaan viiteen päätyyppiin, joita ovat kiinteä tasoarina, kiinteä viistoarina, mekaaninen viistoarina, ketjuarina ja erikoisarinat (Raiko et al. 2002, s.472).

Arinatyypistä riippumatta tulee polttoaine syöttää arinalle tasaisena, koko arinan levyisenä kerroksena, jotta palamisilman syöttöä kattilaan voidaan hallita. Primääri-ilma syötetään kattilaan arinan alapuolelta polttoainepatjaan. Primäärinen palamisilma pääsee karkuun, ellei polttoaine ole tasaisena kerroksena koko arinan alueella. Ns. sekundääri-ilma syötetään tulipesän palamisvyöhykkeen yläosaan haihtuvien kaasujen palamisen varmistamiseksi. Arinalla on samaan aikaan monia eri palamisen vaiheissa olevia



kappaleita.

Kuva 4. Kiinteän polttoaineen poltto arinalla. Julkaistu International Flame Research Foundation – Suomen kansallisen osaston luvalla. (Raiko et al. Poltto ja palaminen s. 467)

Arinapolton tuloksena syntyy tuhkaa, joka poistuu enimmäkseen arinan läpi esimerkiksi ns. sammutuskaukaloon. Osa poltossa syntyvästä tuhkasta on ns. lentotuhkaa, joka poistuu mm. hiukkaskoosta riippuen savukaasujen mukana.

Puupolttoaine on Suomen tärkein uusiutuvan energian lähde, jonka osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 23 % vuonna 2013. Puupolttoaineille on laadittu myös laatuluokitus (Puupolttoaineiden laatuohje, VTT-M-07608-13-päivitys 2014, 57 s.). Polttoaineiden laatu määräytyy lämpökeskukselle saapuvan polttoaineen energiatihedysten (MWh/m^3 , toisin sanoen megawattituntia irtokuutiometrissä polttoainetta), kosteuden sekä materiaalin palakoon mukaan.

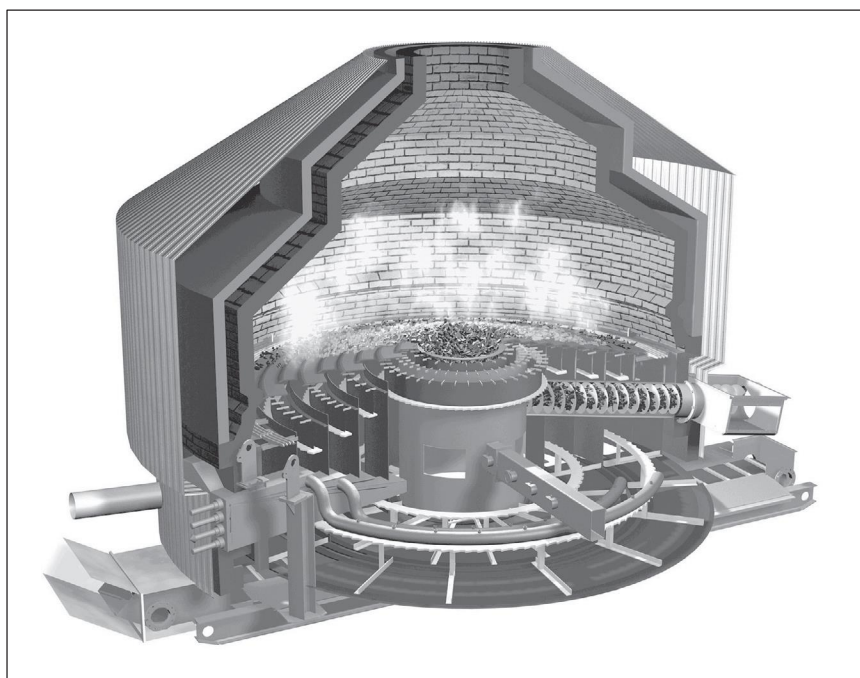
3.2 Arinatyyppit

3.2.1 Pyörivä kekoarina

Pyörivä kekoarina on tyypiltään mekaaninen viistoarina ja se koostuu eri suuntiin pyörivistä sekä paikallaan pysyvistä arinakehistä. Liikkuvista kehistä joka toinen pyörii myötä päivään ja joka toinen puolestaan vastapäivään. Arinakehien liike sekoittaa polttoainetta samoin kuin vie sitä edelleen arinan reunaosiin. Arinan kaltevuuskulma on huomattavasti loivempi kuin esimerkiksi kiinteällä viistoarinalla (Raiko et al. 2002, s. 472). Kattilan tulipesä on yleensä muurattu, eikä sitä ole varustettu jäähdytyksellä. Näin polttoaineen palamislämpötila on korkea mahdollistaen myös kosteiden polttoaineiden käytön.

Polttoaine syötetään Stoker-laitteella arinan keskelle sen alapuolelta. Syötettävä polttoaine muodosta arinan päälle tasaisesti leviävän keon, joka ei häiritse varsinaista palamisvyöhykettä. Polttoaine kuivuu ja palaa tehokkaasti.

Kuvassa 5 on leikkauskuva Wärtsilä Finland Oy:n valmistamasta pyörivästä kekoarinakattilasta (Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 649, s. 30).



Kuva 5. Pyörivä kekoarina (Wärtsilä Finland Oy). Julkaistu Suomen ympäristökeskuksen luvalla. (Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 647 s. 30)

3.2.2 Kiinteä tasoarina

Tasoarina rakentuu vierekkäisistä arinasauvoista. Sauvat eivät kosketa toisiaan ja tällöin sauvojen väliin jäävien rakojen kautta virtaa palamisilma polttoaineen sekaan. Tasoarina voi olla myös pelkkä tasomainen levy, johon on tehty reiät palamisprosessin vaatimalle ilmalle kulkua varten. Tasoarinoita käytetään useimmiten kattiloissa, mihin polttoaine tuodaan yleensä käsin. Kuitenkin polttoaine voidaan syöttää myös mm. Stoker-ruuvilla. (Energiatalous 2013)

3.2.3 Kiinteä viistoarina

Kiinteä arina toteutetaan asentamalla arina 30 – 50 °:en kulmaan. Tällöin on kysymyksessä ns. kiinteä viistoarina. Arinakulman suuruus on riippuvainen polttoaineesta ja sen ”juoksevuudesta”. Polttoaine voidaan syöttää polttoainesiilosta myös painovoimaisesti eli gravitaation avulla. Tällöin se valuu arinalle sitä mukaa, kun arinalla jo oleva polttoaine palaa edestä pois. Gravitaatio toisin sanoen sekä asettaa polttoaineen arinalle, että kuljettaa sitä myös eteenpäin kohti arinan reuna-aluetta. Arinan vinous voi myös olla erilainen arinan eri alueilla. Monesti arinakulma on jyrkempi arinan alkuosassa, mutta pienenee taas arinan alapäätä kohti mentäessä.

Viistoarinan jälkeen on monesti sijoitettu vielä erillinen tasoarina, jota myös jalka-arinaksi kutsutaan. Tällä menetelmällä saadaan varmistettua polttoaineen täydellinen palaminen. Polttoaineen valuessa alas arinan päällä, se samalla sekoittuu polton alussa hyvin. Kun polttoaine palaa hyvin, ei liiallinenkaan liike häiritse palamistapahtumaa. (Huhtinen 1994, s. 133)

3.2.4 Mekaaninen viistoarina

Mekaanisessa viistoarinassa käytettävä polttoaine ei liiku gravitaation johdosta, vaan arinarautojen liikkeen avulla. Sen vuoksi mekaaniset viistoarinat asennetaan vähemmän kalteviksi, kuin kiinteät viistoarinat. Arina on kallistettu yleensä noin 16 °:en kulmaan. Arina on rakennettu arinaraudoista, jotka on kannatettu toistensa perään portaittain. Polttoaine liikkuu arinalla tyypillisesti arinarautoja työntötangoilla hydrauliiikan ohjaamana edestakaisin liikuttamalla. Työntötankojen liikkeen nopeutta ja iskunpituutta säätämällä hallitaan polttoaineen liikettä arinalla. Sellaisten kosteiden polttoaineiden, kuten puun ja turpeen polttoon, käytetään paljon mekaanista viistoarinaa. (Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 647 s. 30)

3.2.5 Porrasarina

Porrasarina voi olla tyypiltään joko kiinteä tai liikkuvia sekä näiden yhdistelmä. Tämä arinatyyppi on viistoarinan kaltainen rakenneratkaisu. Rakenne poikkeaa kuitenkin mekaanisesta viistoarinasta siinä, että arinaraudat sijoittuvat porrasmaisesti toistensa päälle. Palamisilma tuodaan arinalle normaalisti kahdessa osassa. Tällöin primääri-ilma tuodaan arinarautojen läpi sivusuunnassa arinan alapuolelta. Toisioilma syötetään puolestaan arinan alaosaan ns. jalka-arinan läheltä. Tällä pyritään varmistamaan täydellinen palaminen.

Kulloinkin käytettävä polttoaineen syöttö tapahtuu koneellisesti, jolloin polttoainekerroksesta saadaan tasainen ja sopivan paksu. Polttoaine syötetään arinan yläosaan. Polttoaineen palaminen tapahtuu sen liikkuessa arinalla alaspäin portaalta toiselle.

4 PALATURPEEN ARINAPOLTTO

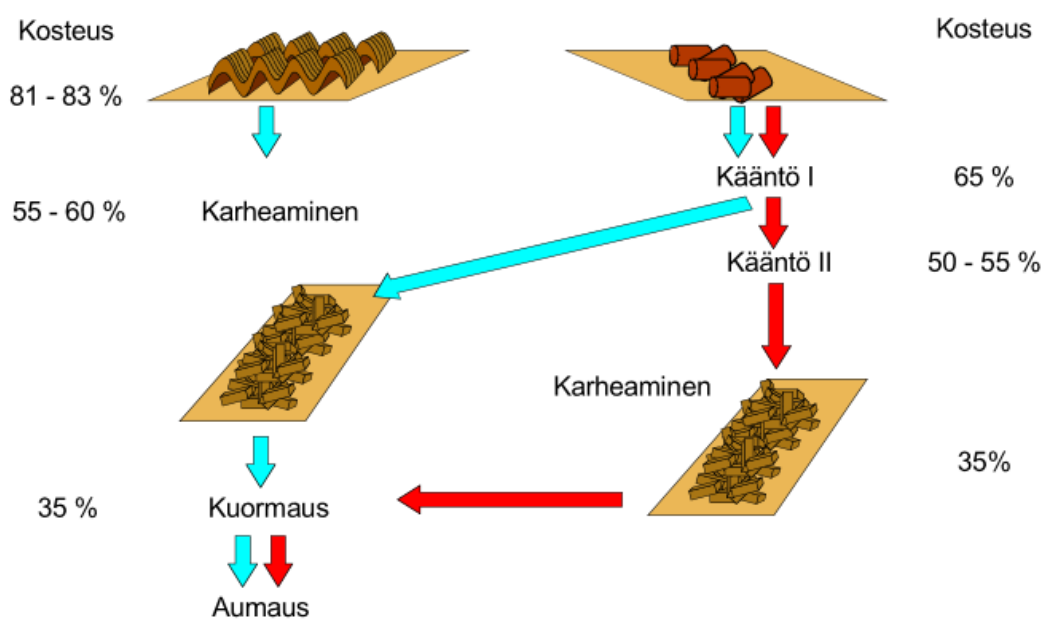
4.1 Yleistä

Suomen turveteollisuuden kehitykseen on merkittävästi vaikuttanut maailman polttoainemarkkinoiden muutos. Toisen maailmansodan alettua hiljeni tärkeiden tuontipolttoaineiden kuten hiilen ja öljyn tuonti Suomeen. Polttoturvetuotantoa ryhdyttiin lisäämään heti, jotta kriisistä johtunut energiavaje voitaisiin täyttää. Turpeen tuotantokoneiston toiminnan kehitys ei kuitenkaan saavuttanut toivottua tulosta, vaan sota päättyi ennen kuin laajempaa lisäystä tuotannossa syntyi. Turvetta tuotettiin entistä nopeammin sodan aikana käyttöön otetuilta soilta vuoteen 1952 saakka. Tämän jälkeen tuontipolttoaineiden saanti helpottui ja turpeen tuotantokehitys tyrehtyi. Polttoturvetta kulutettiin aiempaa vähemmän 1960-luvulla, jolloin öljyn hinta oli erittäin alhaalla. (Vasander (toim.) 1998, s. 84–85)

Turveteollisuuden tuotannon kehittäminen laajemmassa mittakaavassa alkoi 1960-luvun lopulla. Tuolloin alkoi öljyn hinta näyttää kohoamisen merkkejä. Maan hallitus määräsi Valtion polttoainekeskuksen (nykyinen Vapo Oy) kehittämään turpeen tuotantoa ja käyttöä vuonna 1968. Silloinen Suomen polttoturpeen tuotanto oli noin 0,2 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Tuotanto päätettiin nostaa 10 miljoonaan m³:iin vuoteen 1980 mennessä. Miljoona kuutiometriä turvetta sisältää keskimäärin 1 TWh energiaa. 1970-luvun alun öljykriisi sai aikaan öljyn hinnan huiman nousuun. Valtioneuvoston päätöksellä tammikuussa 1974 kaksinkertaistettiin turpeen tuotannon aiempi tuotantotavoite 20 miljoonaan m³:iin. Samalla aloitettiin turpeen käytön laaja kehittämisohjelma. Tavoitteena oli turvata Suomen energian saanti tuontipolttoaineiden hinnan ja saatavuuden vaihteluilta. Asetettu tavoite osoittautui kuitenkin liian kovaksi ja se saavutettiin ensimmäisen kerran vasta vuonna 1986. Sitten turpeen energiakäyttö on moninkertaistunut. (Vasander (toim.) 1998, s. 107; Huhtinen et al. 2000, s. 37)

Palaturpeena tuotettiin vuonna 2004 noin 8 % kokonaisturvetuotannosta. Palaturve nostetaan turvetuotantoon valmistellun suon pinnalta palannostokoneella. Tyypillisesti nostettavan turpeen alkukosteus on 81–84 %. Traktorivetoisessa laitteessa on

nostokiekko, joka jyrssi noin puoli metriä syvän ja 5–10 cm leveän railon turvekenttään. Kiekko irrottaa turvetta ja syöttää sitä muokkainruuville. Turve muokataan sekä sekoitetaan ruuvissa, jonka jälkeen valmis turvemassa siirtyy suutinsaan. Suuttimen läpi puristettava turvemassa tiivistyy sekä muotoutuu. Valmis pala irtaana suuttimesta ja jätetään kentälle kuivumaan. Palaturvetuotannossa käytetään syntyvän palan muodolle kahta päätyyppiä: 40–50 mm lieriötä tai laineelle tuotettua nauhaa. Nostoprosessista muodostuu noin 50 % kokonaistuotantokustannuksista (Vasander (toim.) 1998, s. 104). Tavallisesti palaturve kuivataan vähintäänkin 35 % kosteuteen, joskus kuitenkin käyttäjien vaatimuksesta tätäkin kuivemmaksi (Alakangas et al. 2011 s. 118 - 119). Kuvassa 7 on esitetty palaturpeen tuotantoprosessi.



Kuva 7. Palaturpeen tuotantomenetelmät (Alakangas et al. 2011). Julkaistu VTT:n luvalla.

Palaturvetta tuotettiin Suomessa vuosina 2009 ja 2010 vuositasona noin 1800 GWh. Tuotantomäärä tarkoittaa noin 6-7 % energiaturvetuotannon kokonaismäärästä. Palaturve on 1,4 kertaa tiheämpää kuin jyrshinturve, josta johtuen sen hinta on noin 3,00 €/MWh kalliimpaa. Vapo Oy ja Turveruukki Oy ovat Suomen suurimmat palaturpeen tuottajat. Maasta löytyy lisäksi kymmeniä pienempiä palaturpeen yksityisiä tuottajia.

Vuonna 2010 käytettiin Suomessa palaturvetta 800 GWh kaukolämmön tuotantoon. Samaan aikaan mm. teollisuus käytti yhteensä arviolta 50 - 60 GWh. Kasvihuoneiden lämmityksessä kulutettiin noin 300 GWh muun käytön ollessa jalostuskäyttöä ja kiinteistöjen lämmityksestä johtuvaa. Palaturpeen seulonnassa syntyvää ns. seulan alitetta on käytetty jyrsinturpeen tapaan voimalaitoksilla poltossa. Palaturvetta käytetään pääpolttoaineena lämpölaitosten teholtaan alle 7 MW:n viistoarinakattiloissa ja se on sellaisenaan syötettävissä arinakattilaan (Alakoski & Erkkilä 2011, s. 17). Arinapoltossa palaturpeen tärkeimmät kilpailevat polttoaineet ovat kokopuu- ja rankahake.

Palaturpeen tuotantoa rajoittavat merkittävästi uusien tuotantoalueiden lupa-asioiden vaikeudet. Palaturpeen markkinatilanne on hyvä turpeen käyttäjien ja tuottajien mielestä. Samoin on tulevaisuudessa, jolloin palaturpeen näkymät markkinoiden suhteen ovat hyvät, jos palaturpeen hinta säilyy kilpailukykyisenä. Palaturve on hyvä polttoaine, mutta sillä on aiheutta huono imago käyttäjien mielestä. (Alakoski & Erkkilä 2011, s. 1)

Pala- ja jyrsinturpeelle on laadittu niiden polttokäyttöä varten laatuluokitukset. Luokitus on turpeen käyttäjien ja tuottajien yhdessä julkaisema ”Polttoturpeen laatuohje”. Ohjeessa määritellään tapa, jonka pohjalta poltettavaksi tuotetun turpeen laatu ilmoitetaan ja todetaan yksikäsitteisesti ja tarkoituksen mukaan. Laatuohjetta apuna käyttäen määritetään polttoturpeen hinta ja sitä voidaan käyttää perustana uusien polttolaitosten suunnittelussa.

Palaturvetta käytetään lämpölaitoksilla yleisesti vähemmissä määrin kuin jyrsinturvetta. Palaturpeelle on olemassa oma laatuluokituksensa, joka vastaa jyrsinturpeen luokitusta. Palaturpeen laatuluokkia ovat P9, P11, P13 sekä pienkäyttöä varten tarkoitettu luokka P15. Numero, joka esiintyy palaturpeen laatuluokan nimessä, tarkoittaa saapuvan palaturpeen vähimmäisarvoa sen alemmalle lämpöarvolle. Laatuluokituksessa palaturpeelle asetetaan raja-arvot kaikille sen tärkeimmille ominaisuuksille. (Raiko et al. 2002, s. 133-134)

4.2 Palaturpeen käyttöä ohjaavat säädökset ja ohjaustoimet

Turpeen käytön merkittävin vaikutus ympäristöön on sen polton aiheuttamat päästöt. Mikäli huomioidaan turpeen tuotantoalueen tuotannon jälkeinen pitkäaikainen hyödyntäminen bioenergian tuotannossa, vaikuttaa turvemaan energiakäyttö esimerkiksi kivihiiltä vähemmän ns. kasvihuoneilmiöön. Vaikutusta voidaan vähentää vielä mm. suuntaamalla turpeen tuotantoa maatalouden käytössä oleville turvealueille, kokoamalla jäännösturve tarkemmin, kehittämällä polton tekniikoita edelleen sekä uusilla tuotantomenetelmillä. (Kirkinen et al. 2007)

Kasvihuonekaasujen päästöoikeuksien kauppaa säätelee vuonna 2003 Euroopan Unionissa voimaan astunut direktiivi. Varsinainen päästökauppa käynnistyi EU:n alueella tammikuun alussa vuonna 2005. Polttoaineteholtaan suuremmat kuin 20 MW:n energiantuotantolaitokset kuuluvat päästökaupan piiriin ja joutuvat hankkimaan päästöoikeuksia. Päästökaupassa käytetään niin sanottua päästölaskentaa, jossa palaturpeen päästökerroin on 102 tCO₂/TJ. Biopolttoaineiden, joihin mm. metsähake luetaan, päästöarvoksi laskennassa on sovittu käytettävän nollaa. Turpeen polton päästöt rinnastetaan sekä päästökaupassa että päästölaskennassa fossiilisiin polttoaineisiin. Keväällä 2011 päästöoikeuden hinta oli noin 15 – 16 €/tCO₂ päättyen myöhemmin kesällä hintaan noin 11 €/tCO₂. Tämän aiheuttama vaikutus polttoturpeen hintaan oli kevään hintatasolla noin 6 €/MWh (Alakoski & Erkkilä 2011, s. 11-12). Tuusniemen Aluelämpö Oy:n lämpökeskuksen polttoaineteho on 6 MW, joten se ei kuulu päästökaupan piiriin.

Viimeisten kuluneiden vuosikymmenten aikana on ympäristöpolitiikka vaikuttanut yhä enenemissä määrin turvetta käyttävään teollisuuteen. Valmistevero poistui turpeelta heinäkuun 2005 alussa. Suomessa tuli kuitenkin voimaan vuoden 2011 alussa kokonaan uusi turpeen energiavero, jota maksaa lämmitykseen käytettävän turpeen osalta sen loppukäyttäjä. Lämmitykseen käytetty turve on kuitenkin loppukäyttäjälle verotonta, mikäli sitä käytetään vähemmän kuin 5 000 MWh/a. Polttoturpeesta maksettavan veron suuruus oli vuosina 2011-12 1,90 €/MWh ja vuosina 2013-14 2,90 €/MWh nousten vuoden 2015 alusta lukien täysimääräiseksi eli 3,90 €/MWh (Alakoski & Erkkilä 2011, s. 12). 1.1.2019 alkaen on polttoturpeen energiavero 3,00 €/MWh. Tuusniemen

Aluelämpö Oy:n lämpökeskuksen kaukolämmön tuotto metsähakkeella on viime vuosina ollut noin 7 500 MWh/a. Voidaan arvioida, että mikäli tulevaisuudessa lämpökeskuksella siirrytään käyttämään metsähakkeen ja palaturpeen muodostamaa seospolttoainetta, niin polttoturpeen käyttö jää alle 5 000 MWh/a.

4.3 Arinatyyppit palaturpeen poltossa

Palaturpeen poltossa käytetään pienissä lämpökeskuksissa samoja arinatyyppiejä kuin hakkeen poltossakin. Sellaisia ovat muun muassa pyörivä kekoarina, kiinteä tasoarina, kiinteä viistoarina ja mekaaninen viistoarina. Kyseisiä arinatekniikoita on selostettu tarkemmin edellä kappaleessa 3.2 Arinatyyppit. Varastosiilot ja kuljettimet polttoainesiilosta kattilalle ovat yleensä samaa tyyppiä kuten myös syöttösuppilokin. Sen sijaan esimerkiksi Stoker-laite, joka siirtää palaturpeen kattilan arinalle, voi olla halkaisijaltaan samaa kokoluokkaa hakeruuvien kanssa, mutta ruuvien kierre on yleensä jonkin verran harvempi kuin haketta polttoaineena käytettäessä. Palaturve palaa korkeammassa lämpötilassa kuin hake, mikä on huomioitava kattilan tulipesän rakenteissa, Tuusniemellä sen suojamuurauksissa.

5 PUUN JA PALATURPEEN SEOSPOLTTO

5.1 Yleistä

Pienten ja vähän suurempien lämpökeskusten yleisin kiinteiden polttoaineiden polttomenetelmä jo teollistumiskauden alusta lukien on ollut ns. arinapoltto. Kiinteät polttoaineet jaetaan yleisesti uusiutuviin ja fossiilisiin polttoaineisiin. Ensiksi mainittuja ovat biomassapohjaiset polttoaineet, joita ovat erilaiset metsä- ja maataloustuotteet kuten esimerkiksi puu ja olki sekä metsätähteet ja erilaiset viljeltyt kasvit esimerkkinä ruokohelpi. Fossiilisia polttoaineita ovat taas muun muassa kivihiili ja turve. Kivihiili on muodostunut geologisessa prosessissa turpeesta, joka puolestaan on maatunutta kasviainesta. Arinalla polttoa käyttivät jo ensimmäiset puuta polttavat lämpökeskukset. Kattiloissa oli tuolloin kiinteät arinat. Mekaaniset arinat syrjäyttivät käytännössä kiinteät arinat pienemmissä kattiloissa, mikä mahdollisti myös turpeen arinapolton. (Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 649 s. 25)

Uudemmat polttotekniikat, kuten esimerkiksi leijupoltto ovat 1980-luvulta lähtien syrjäyttäneet arinapolttotekniikkaa eritoten Suomessa tehoalueella $> 10 \text{ MW}_{\text{th}}$. Arinapoltto on kuitenkin edelleen yleisin turpeen ja puun polttomenetelmä kokoluokassa alle $10 \text{ MW}_{\text{th}}$ lämpökeskuksissa. Kaasutuspolttoa käytetään myös kokoluokassa $2\text{--}10 \text{ MW}_{\text{th}}$ (Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 649 s. 28-29). Taulukossa 1 on esitetty turpeen ja puun polton tyypilliset teholuokat pienillä polttolaitoksilla.

Taulukko 1. Turpeen ja puun polton tyypilliset teholuokat polttotekniikoittain pienten polttolaitosten kokoluokassa. (Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 649 s. 29)

Polttotekniikka	Pienin teho, MW	Tyypillinen teho, MW
Mekaaninen arina	1	2 – 30
Kerrosleijupoltto	2	10 – 50
Kiertoleijupoltto	7	20 – 50
Kaasutuspoltto	0,5	2 – 10

Taulukossa 2 on esitetty arvio eri polttotekniikoiden soveltuvuudesta jysinturpeen, palaturpeen ja hakkeen polttoon ja säädettävyyteen.

Taulukko 2. Eri polttotekniikoiden soveltuvuus ja säädettävyys jysinturpeen, palaturpeen ja hakkeen poltossa. (Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 649 s. 29)

Polttotekniikka	Jysinturve	Palaturve	Hake	Säädettävyys
Mekaaninen arina	2	3	3	2
Leijupoltto	3	2*	3	3
Kaasutuspolttto	0	3	3	3

0 = ei sovellu, 1 = välttävä, 2 = tyydyttävä, 3 = hyvä, * = vaatii esimurskauksen

5.2 Metsähakkeen ja palaturpeen polttoaineominaisuuksia

Kasvien yhteyttämisprosessi tuottaa ns. biomassaa. Kasvien vihreissä lehdistä viherhiukkaset valmistavat maassa olevasta vedestä ja ilmakehässä olevasta hiilidioksidista auringon säteilyn avustuksella sokereita, jotka kasvien solut muokkaavat hiilestä (C), vedystä (H) ja hapesta (O) koostuviksi monimutkaisiksi yhdisteiksi. Tämä biomassa sisältää myös vähäisessä määrin erilaisia mineraaleja sekä typpeä (N). Yhteyttäessään metsän kasvit kaappaavat hiiltä ilmakehästä ja sitovat auringon tuottamaa energiaa kemialliseksi energiaksi. Kun puu kuolee, hajoaa sen biomassa hapettumalla. Tällöin vapautuu energiaa hiilen ja vedyn sidosten murtuessa. Luonnossa tämä tapahtuu esimerkiksi puun hitaassa lahoamisessa tai nopeammin metsäpalossa. Siirrettäessä palaminen suljettuun tilaan, on hajoamisprosessissa vapautuva energia otettavissa talteen ja tuottaa sähköä, höyryä tai lämpöä. Puussa on paljon ns. haihtuvia aineita. Tämän vuoksi se palaa pitkällä liekillä ja vaatii suuren palotilan. (Alakangas et al. 2016, s. 54)

Palaturve on pienten, kuten mm. alle 10 MW kattilatehoisten aluelämpökeskusten arinakattiloiden polttoaine. Palaturvetta suositetaan arinapoltossa, koska arinapoltossa ohutjakoinen jysinturve tahtoo virrata arinoiden läpi, ennen kuin se on kokonaan palanut. Tämä ongelma ei koske palaturvetta arinapoltossa. Myös arinakattiloiden taloudelliset investointikustannukset johtavat niiden käytön suosimiseen teholtaan pienissä laitoksissa. Pienitehoisissa kattiloissa palaturvetta on mahdollista käyttää pääpolttoaineena, mikäli sitä on saatavilla kuljetuskustannukseltaan kohtuulliselta

kuljetusetäisyydeltä. Pienet arinakattilat, jotka suunnitellaan tuottamaan metsähakkeen poltolla lämpöä tasaisesti koko vuoden, ovat yleensä pakotettuja turvautumaan peruspolttoaineen käyttöön lämmityskauden kylmimpinä jaksoina. Hakkeen mukana palaturve soveltuu hyvin käytettäväksi arinakattiloissa huipputehon saavuttamiseksi. (Virtuaalisuo 2007)

Puu koostuu alkuainetasolla pääasiassa vedystä, hapesta ja hiilestä. Ne muodostavat puun kuiva-aineen massasta noin 99 %. Puu sisältää typpeä 0,5 - 2,3 % ja rikkiä yleensä alle 0,05 %. Alkuainekoostumukseltaan eri puulajit poikkeavat vain vähän toisistaan. Polttoaineen energiasisältö riippuu sen kemiallisesta koostumuksesta eli sen vety- ja hiiliyhdisteisiin sitoutuneen auringon energiasta. Kuta suurempi on vety- ja hiilipitoisuus, sitä suurempi polttoaineen energiasisältö on. Runkopuun ollessa kuoretonta, on sen tuhkapitoisuus tavallisesti 0,3 - 0,7 paino- %. Varttuneiden puiden tuhkapitoisuus on pienempi kuin nuorten puiden. Havupuussa on vähemmän tuhkaa kuin lehtipuussa. Neljän suomalaisen puulajin (kuusi, mänty, haapa ja koivu) tuhkapitoisuus runkopuulle on keskimäärin 0,46 %, 1,52 % kuorellisille oksille, 2,97 % kuorelle ja 4,97 % lehdille. Puun tuhka ei sisällä typpeä eikä klooria, sillä ne ovat haihtuvia aineita ja poistuvat poltossa savukaasujen mukana. Tuhkan sisältämät kalsium ja magnesium toimivat hyvin happaman maaperän neutralisointiaineina. Kalsium on puun tuhkan pääkomponentti ja sitä on erityisen runsaasti kuoren tuhkassa. Puu sisältää tuhkaa tavallisesti vähemmän kuin muut kiinteät polttoaineet. Tämä ominaisuus helpottaa tuhkan käsittelyä ja on omiaan pienentämään tuhkan käsittelykustannuksia. (Alakangas et al. 2016, s. 56 - 59)

Kuvassa 8 on valokuva hyvälaatuisesta metsähakkeesta. Tällöin hakkeen sisältämä kosteus on sopiva, palakoko on polttoja ajatellen optimaalinen ja tasainen, jonka lisäksi se sisältää jonkin verran myös puun kuoriainesta.



Kuva 8. Hyvälaatuista haketta (www.bioenergianeuvoja.fi). Julkaistu bioenergianeuvojan luvalla.

Palaturpeen energiatiheys on jysinturvetta suurempi. Tämän vuoksi se myös palaa jysinturvetta puhtaammin, jolloin myös sen päästökerroin on jysinturvetta pienempi. Turpeen poltosta ylipäänsä syntyy pääasiassa hiilidioksidia, rikkidioksidia, raskasmetalleja, typen oksideja ja pölymäistä tuhkaa. Turve sisältää rikkiä tavallisesti 0,1 – 0,2 %. Puun poltto tuottaa turvetta vähemmän typen oksideja, sillä puussa on turvetta vähemmän typpeä. Turve sisältää typpeä 0,6 - 3,0 %. (Alakangas 2000)

Käytettäessä turvetta seospolttoaineena, voidaan sillä tasata puupolttoaineiden saatavuutta ja pienentää käytettävän polttoaineen laadun vaihteluita samoin kuin pelkän turpeen poltosta aiheutuvaa rikkipäästöä. Turpeen sisältämän rikin ansiosta pienenee puupolttoaineen kattiloiden likaantumista ja korroosiota aiheuttava vaikutus. (Alakoski & Erkkilä 2011, s. 11)

5.3 Käytössä olevia hakkeen ja palaturpeen sekoitustapoja

Puupolttoaineen ja palaturpeen muodostaman seospolttoaineen syöttö lämpökeskuksen kattilan arinalle tapahtuu esimerkiksi Stoker-laitteella, jolloin metallikuoren sisällä oleva harvalla kiertellä varustettu ruuvi käytännössä työntää polttoaineen arinalle.

Polttoaineen sekoittamiseksi on olemassa kaksi käytössä olevaa menetelmää. Ensimmäisessä menetelmässä polttoainekomponentit toimitetaan erillisinä kuormina ajoneuvoilla lämpökeskuksen asfaltoidulle tai betonilla päällystetylle polttoaineen vastaanottoalueelle. Tämän jälkeen polttoaineet sekoitetaan esimerkiksi traktorin etukuormaajalla, pyöräkoneella tai kaivinkoneella keskenään. Sekoittaminen tapahtuu esimerkiksi tilavuusosina. Kun polttoaineet on saatu sekoitettua sopivassa suhteessa, niin polttoaineseos siirretään sekoitusalueelta varastosiiloon. Siilosta polttoaine siirtyy kattilaan kolakuljettimen ja Stoker-laitteen avulla.

Jälkimmäinen sekoitusmenetelmä polttoaineet tuodaan erillisinä kuormina saman vastaanottoaseman katon alla oleviin ja väliseinällä erotettuihin polttoaineen siiloihin. Siilot ovat varustetut esimerkiksi kolapohjapurkaimilla. Purkaimet siirtävät eri polttoainelajit repijätelalle, joka käytännössä valmistaa kattilaan syötettävän polttoaineseoksen.

5.4 Seostekniikka sijoitettuna Tuusniemen lämpökeskukselle

Tuusniemen lämpökeskuksella on tällä hetkellä käytössä polttoaineena vain metsähake, tarkemmin sanottuna hakkuutähdehake. Näin ollen polttoainesiiloja on lämpökeskuksella olemassa vain yksi kappale. Alun perin tuo kolapohjapurkaimella varustettu vastaanottoasema oli mitoitettu siten, että polttoainetta tuova, peräpurkaimella varustettu rekka olisi mahtunut peruuttamaan siiloon sisälle ja purkamaan kuorman suoraan kuljettimen päälle. Menetelmä oli kuitenkin käytössä vain muutaman vuoden, kun autojen mitoitus suureni uudistetun lainsäädännön myötä niin, etteivät autot mahtuneet enää sisälle vastaanottoasemaan. Tämän jälkeen polttoaine

on hakettu vastaanottoaseman läheisyydessä asfaltoidulla pihamaalla, josta se siirretään traktorin etukuormaajalla vastaanottosiiloon ja osa katettuun varastosiiloon.

Mikäli Tuusniemen lämpökeskuksella siirrytään jatkossa jollakin aikataululla käyttämään hakkeen ja palaturpeen muodostamaa tai jotakin muuta mahdollista seospolttoainetta, joudutaan polttoaineen syöttöjärjestelmää päivittämään. Tämä tarkoittaa käytännössä vastaanottoaseman laajentamista useamman polttoainelinjan sisältäväksi ja repijätelan sisältäväksi siiloksi, olemassa olevan kolakuljettimen jatkamista sekä syöttösuppilon ja Stoker-laitteen mitoitus tarkistamista.

Toinen vaihtoehto seospolttoaineen hyödyntämiseksi polttoaineena on, että hyväksytään polttoaineseoksen valmistus lämpökeskuksen piha-alueella eri komponenteista koneellisesti sekoittamalla. Tässäkin tapauksessa valmis seospolttoaine tulisi varastoida katoksen alle, mikäli sitä tehdään pidemmän ajan käyttöä vastaava määrä. Lisäksi tämänkin vaihtoehdon kohdalla on päivitettävä myös syöttösuppilon ja Stoker-laitteen mitoitus.

Vielä on huomioitava, että turve palaa haketta korkeammassa lämpötilassa, minkä johdosta on kattilan tulipesän muurauksien mitoitus syytä tarkastella uudelleen. Kaiken tämän lisäksi turpeen tuominen mukaan polttoainevalikoimaan tarkoittaa myös lämpökeskuksen olemassa olevan ympäristöluvan uudelleen tarkastelua.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suurimmat energiaturvevarat sijaitsevat Lapissa, Pohjois-Pohjanmaalla, Kainuussa ja Pohjois-Karjalassa. Pohjois-Karjalan turvetuotantoalueet sijaitsevat taloudellisen kuljetusmatkan päässä Tuusniemen lämpökeskuksesta. Suomessa on 9,39 miljoonaa hehtaaria turvemaita, mikä tarkoittaa suurin piirtein 30 prosenttia Suomen maapinta-alasta. (Lahtinen et al. 2005 s. 13-14)

Geologian tutkimuskeskus arvioi Suomessa olevan noin 500 000 hehtaaria energiaturpeen tuotantoon kelpaavaa suoalaa. Tämä tarkoittaa keskimäärin noin 5 500 miljoonaa kuutiometriä polttoturvetta. Polttoturvetta kulutetaan vuositasona noin 18 miljoonaa kuutiometriä. Tästä on johdettavissa, että polttoturvetta riittää vielä useaksi sadaksi vuodeksi tulevaisuuteen. Tästä huolimatta vuosittain kasvava kulutus, kuten myös turvemaiden epätasainen sijainti kuihduttaa turvevarat ensimmäisenä eteläisimmästä Suomesta. Turpeen hyötykäyttöön ottaminen ei ole vaikuttanut maamme suovarantoihin, koska turve kasvaa vuosittain enemmän, kuin mitä sitä tänä päivänä hyödynnetään. Suomen suot kasvavat vuosittain noin 40 TWh:n energiasisältöä vastaavan määrän uutta turvetta. Energiaturvetta tuotettiin vuonna 2010 lähes 6 000 hehtaarin suuruiselta alalta. VTT:n arvion mukaan energiaturpeen vuonna 2020 tarvittava tuotantoala on noin 57 000 hehtaaria. Samaan aikaan turvetuotannosta poistuu enemmän kuin 34 000 hehtaaria tuotantoalaa. Ennustetun turpeen kysynnän täyttämiseksi on tärkeää säilyttää tuotantoala noin vuoden 2010 tasolla siitakin huolimatta, että metsähakkeen käytön ennustetaan kasvavan merkittävästi vuoteen 2020 mennessä. (Huhtinen et al. 2000 s. 31; Flygtman et al. 2012 s.2)

Turvetta nostetaan Suomessa kesäaikaan, jolloin huonot sääolosuhteet vaikuttavat oleellisesti turpeen tuotantomääriin. Turpeen tuotantoalueet voivat olla myöhäisestä keväästä johtuen tavanomaisen nostokauden alussa vielä useita viikkoja roudassa, mikä estää turpeen noston. Myös runsaat kesäsateet vaikuttavat turpeen tuotantomääriin ja laatuun, koska turve ei kuiva normaalisti ja on kosteaa. Turpeen määrän ja laadun heikentyessä myös siitä saatava hinta tuottajalle laskee. Tämä voi vaikeuttaa pienten lämpökeskusten turvepolttoaineen saantia suurten laitosten viedessä vuosisopimuksiensa ansiosta kaiken turvesadon. Tämän vuoksi seospolttoainetta

käyttävät lämpökeskukset ovat pakotettuja käyttämään enemmän kalliimpaa puupolttoainetta, joka puolestaan aiheuttaa paineita lämpökeskuksella tuotettavan kaukolämmön hintaa kohtaan.

Tuusniemen Aluelämpö Oy:n omistaman lämpökeskuksen suunnitelmassa seospolttoaineena käytettävän polttoturpeen käyttöön ottoa omistamallaan lämpökeskuksella, kannattaa yhtiön huomioida ja selvittää vielä muutamia seikkoja kaukolämmön tuotannossa.

Pellettiä valmistetaan kotimaisesta biopolttoaineista puristamalla sylinterin muotoisiksi rakeiksi hydraulisesti. Pellettiä voidaan valmistaa ainakin puusta ja turpeesta sekä myös hevosenlannasta. Puupelletin valmistuksessa käytetään tavanomaisesti teollisuustuotteiden ohessa syntyvää sahajauhoa, kutterinpurua ja erilaisia hiontapölyjä. Pellettirakeiden sidosaine on puun oma ligniini, siis luonnon oma liima-aine. Valmiin pelletin kosteusprosentti on alle 10 prosenttia, jonka ansiosta se ei homehdu eikä jäädy. Puupelletillä on korkea lämpöarvo, se on tasalaatuista ja sisältää energiaa 4,75 kWh/kg. Pellettiä puristetaan myös jyrsturpeesta samalla valmistustekniikalla kuin puupellettiä. Hyvä pelletin raaka-aine on myös hevosenlanta, jonka ongelmana sen hyödyntämisessä on käytön polttoaineena pienissä lämpökeskuksissa käytännössä estävä Suomen lainsäädäntö. Hevosenlantapellettiä käytetään jo mm. Ruotsissa ja Saksassa. Pelletti on raekooltaan pieni 6...12 mm x 10...30 mm, joten sen käyttö erityisesti arinakattilassa voi olla tuossa kokoluokassa käytännössä mahdotonta. Pelletti mahtuu tipahtamaan arinan läpi kesken palamisen. Lisäksi pellettirae on pinnaltaan liukas ja voi siten vaikuttaa seospolttoaineen homogeenisuuteen. Mikäli pellettirakeen kokoa voidaan suurentaa, kannattaa sen mahdollinen käyttö seospolttoaineena selvittää. Tämä koskee myös pelletin hintaa €/kWh. (Bioenergianeuvoja)

Suomen metsissä kasvaa monenlaisia puita, joilla on kaikilla hieman erilainen energiasisältönsä. Nykyinen lämpökeskukselle tuleva hakkuutähdehake on valmistettu sekapuusta ja sisältää siten lämpöarvoltaan erilaista poltettavaa materiaalia. Mikäli polttoaineeksi haketetaan vain parhaan energiasisällön omaavaa puuainesta, voi tämä vaikuttaa polttoaineesta saatavaan hyötyyn ja mm. tarvittavien varastosiilojen ja -

alueiden kokoon sekä siten myös kaukolämmön tuotantokustannuksiin ja kuluttajille myytävän energian hintaan.

Hakkeen lämpökeskukselle toimittaa tällä hetkellä paikallinen metsänhoitoyhdistys vuosisopimuksen (1 sopimusvuosi + 2 optiovuotta) perusteella. Hakkeen laatua valvotaan silmämääräisesti. Laatua määritellään sopimuksessa vain hakkeen palakoon perusteella. Siitä maksetaan metsänhoitoyhdistykselle kattilan jälkeen mitatun energian mukaan. Jatkossa kannattaa selvittää ja vertailla esimerkiksi eri puulajien vaikutus hakkeen energiasisältöön ja siten tarvittaessa päivittää hakkeen toimitussopimusta.

Pohdittaessa palaturpeen käyttöä seospolttoaineena, on tarpeen hankintapäätöksen pohjaksi miettiä turpeen polton vaikutukset lämpökeskuksen pakollisiin laitehankintoihin sekä mitoittaa laitteet ja vastaanottoasemat huomioiden esimerkiksi kuoren lisääminen seospolttoaineeksi. Puun kuoren hinta lämpöarvoon suhteutettuna on todennäköisesti sen saatavuudesta riippuen turvetta ja haketta alhaisempi. Lisäksi kuoren poltto turpeen sijaan on helpompaa viranomaisten vaatimaa ympäristölupaa silmällä pitäen. Puun kuoriaines kontaminoituu hakkuun ja kuljetuksen yhteydessä ja sisältää tämän vuoksi muun muassa hiekkaa. Kuoriaineen kontaminoitumisen vuoksi lämpökeskuksen laitteet kuluvat kuorta poltettaessa nopeammin kuin turvetta tai haketta poltettaessa. Tämä johtaa laitoksen lisääntyvään kunnossapitotarpeeseen ja aiheuttaa siten osaltaan lisää lämmön tuotantokustannuksia.

Lämpökeskuksen ympäristölupa on vuodelta 1999 ja se on voimassa toistaiseksi. Polttoprosessia ei ole luvan myöntämisen jälkeen muutettu ja lupa on edelleen voimassa. Laitoksella on kyllä pidetty ympäristöviranomaisen toimesta säännöllisesti erilaisia katselmuksia. Mikäli lämpökeskus siirtyy käyttämään seospolttoaineita, tulee etukäteen selvittää uuden ympäristöluvan mahdollisesti asettamat vaatimukset poltolle.

Kun Tuusniemen Aluelämpö Oy perustettiin vuonna 1997, sisältyi perustamisasiakirjoihin kaikkiaan 11 erillistä sopimusta. Tärkeimpiä niistä ovat osakassopimus ja lämmöntoimitussopimus. Osakassopimuksen mukaan Adven Oy myy erikseen tehtävän ja osakassopimuksen liitteenä olevan lämmöntoimitussopimuksen mukaan yhtiölle kaiken sen tarvitseman lämpöenergian. Lämmöntoimitussopimuksessa

määritellään mm. myytävän energian hinta. Energian hinnan laskukaava puolestaan perustuu kolmeen eri tekijään, joita ovat sähkön, öljyn ja hakkeen hinta. Mikäli lämpökeskuksella siirrytään käyttämään seospolttoaineita, joudutaan todennäköisesti voimassa olevia sopimuksia tarkastelemaan uudestaan.

Hakkeen poltosta lämpökeskuksella syntyy tuhkaa, joka Elintarviketurvallisuusvirasto Eviran vuonna 2009 tekemän valvontapäätöksen mukaisesti menee tällä hetkellä hyötykäyttöön metsien lannoitukseen. Mikäli lämpökeskuksella ryhdytään seospolttoaineen osakomponenttina käyttämään turvetta, ovat tuhkan erilaiset käyttömahdollisuudet selvittävä uudestaan. Tuhkan määräkin voi muuttua. Mikäli tuhka muuttuu ongelmajätteeksi, voi sen hinta aiheuttaa paineita energian hintaan laiteinvestointien lisäksi.

Mikäli lämpökeskuksella ryhdytään käyttämään palaturvetta tai esimerkiksi puun kuoriainesta metsähakkeen kanssa seospolttoaineena, tulee paras polttoainejakeiden sekoitussuhde jatkossa selvittää. Seospolttoaineen käyttöön otto vaikuttaa omalta osaltaan tarvittaviin laiteinvestointeihin, mikä joudutaan ennen suunnitellun polttoaineseoksen valintaa vielä selvittämään.

Turpeen luokittelu polttoaineena on viimeksi kuluneen kahden vuosikymmenen aikana muuttunut oleellisesti. Yhdistyneiden Kansakuntien asettama hallitusten välinen ilmastopaneeli IPCC on poistanut turpeen fossiilisten polttoaineiden luokasta ja jakaa polttoaineet kolmeen ryhmään. Ne ovat uusiutuvat biopolttoaineet, turve ja fossiiliset polttoaineet. Tästä huolimatta esimerkiksi Euroopan Unioni käsittelee politiikassaan fossiilisena polttoaineena. Suomi luokittelee turpeen kansallisesti hitaasti uusiutuvaksi biopolttoaineeksi. Suomalainen energiastrategia pyrkii säilyttämään turpeen kilpailukyvyyn ja kehitysmahdollisuudet ennallaan käyttämällä kansallisia tukitoimia. Kansainvälinen ja kansallinen ympäristölainsäädäntö voi lähitulevaisuudessa muuttua siten, että turpeen käyttö polttoaineena päättyy. On esitettykin, että Suomen tulisi siirtyä hiilineutraaliin ilmastopolitiikkaan vuoteen 2040 mennessä. Tämä tarkoittanee turpeen polton loppumista ainakin pienissä laitoksissa. Jyväskylän Energia Oy on jo päättänyt lopettaa turpeen käytön voimalaitoksissaan. Mikäli turvetta suunnitellaan käytettäväksi

Tuusniemellä, tulee sen käytön päätyminen tulevaisuudessa syytä ottaa huomioon mietittäessä lämpökeskuksen laiteinvestointeja.

7 YHTEENVETO

Tämä kandidaatintyö lähti liikkeelle Tuusniemen Aluelämpö Oy:n tarpeesta selvittää mahdollisuutta laajentaa lämpökeskuksella käytettävää polttoainevalikoimaa. Yhtiön Tuusniemen kuntakeskuksessa omistaman lämpökeskukseen sisältää kaksi öljykattilaa, jotka sijaitsevat erillisessä rakennuksessa ja joita käytetään nykyisin lähinnä tasaamaan huippukuormia sekä KPA-kattilalaitoksen huoltoseisokkien aikana. KPA-kattilalaitoksessa on Sermet Oy:n valmistama pyörivällä kekoarinalla varustettu nimellisteholtaan 2 MW:n suuruinen kattila, jossa käytetään polttoaineena metsähaketta. Lämpöyhtiöllä on tarve selvittää mahdollisuutta hakkeen ja palaturpeen muodostaman seospolttoaineen käyttöön KPA-kattilassa. Laajentamalla polttoainevalikoimaansa hakee lämpöyhtiö pitkällä tähtäimellä toimintavarmuutta ja mahdollisia kustannussäästöjä kaukolämmön toimittamisessa asiakkailleen.

Työ toteutettiin selvittämällä kirjallisuudesta, artikkeleista ja julkaisuista nykyisin käytössä olevia erilaisia menetelmiä ja polttoaineiden ominaisuuksia. Työssä käytiin läpi turpeen saatavuutta ja soveltuvuutta ominaisuuksiensa puolesta Tuusniemen lämpökeskuksen mahdollisen seospolttoaineen yhdeksi komponentiksi. Lisäksi selvitettiin erikseen polttoaineen vastaanottoasemalle asetettavia vaatimuksia.

Johtopäätöksenä todetaan palaturpeen soveltuvan lämpökeskuksen nykyiseen tekniikkaan, jota tosin joudutaan päivittämään melko paljon, mikäli vastaanottoasemaa laajennetaan nykyisestä. Turpeen käyttö tulevaisuudessa polttoaineena askarruttaa monia lämpölaitoksia muuttuvan ympäristölainsäädännön vuoksi.

Työn lopputuloksena saatiin lueteltua seospolttoaineen käyttöönottamiseen liittyviä seikkoja, joita on syytä jatkossa vielä selvittää ennen seospolttoaineen käyttöönottoa ja laiteinvestointien tekoa.

8 LÄHDELUETTELO

Adven Oy, Tuusniemen Aluelämpö Oy:n lämpökeskuksen prosessikaavio.

Alakangas E., 2000. Suomessa käytettyjen polttoaineiden ominaisuuksia. VTT:n tiedotteita 2045. 172 s. + liitteitä 17 s.

Alakangas E., Hurskainen M., Laatikainen-Luntama J., Korhonen J., Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT Technology 258, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, ISBN 978-951-38-8419-2, Juvenes Print, Tampere 2016.

Alakoski e. & Erkkilä A., VTT:n tutkimusraportti nro VTT-R-08729-11, Jyväskylä 2011. Palaturpeen markkinat Suomessa, Tilastotietoa sekä käyttäjien ja tuottajien näkemyksiä, 38+3 s.

Bioenergianeuvojan internet-sivusto 2019. Hakupäivä 10.3.2019. <<http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet>>.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira, valvontaosasto, maatalouskemian yksikkö, valvontapäätös 31.3.2009 nro 2009 - 00202 - 001.

Energiatalous internetsivusto 2013, <<http://energiatalous.blogspot.com/2013/03/arinapoltto.html>

Flyktman M. 2012. Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020 mennessä. 3. päivitys 3/2012, 43 s.

Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P., Pakkanen H. 2000. Höyrykattilatekniikka. PAINOS 5. Opetushallitus. 379 s. ISBN 951-37-3360-2.

Jalovaara J., Aho J., Hietamäki E. & Hyytiä H, Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 649, Helsinki 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW:n polttolaitoksissa Suomessa. Vammalan kirjapaino Oy, 126 s. ISBN 952-11-1488-6 (nid.), ISBN 952-11-1489-4 (pdf).

Kirkinen J., Minkkinen K., Penttilä T., Kojola S., Sievänen R., Alm J., Saarnio S., Silvan N., Laine J., Savolainen J. & I., 2007, Greenhouse Impact due peat fuel utilisation chains in Finland – a life-cycle approach. *Boreal Env. Res.* 12, s. 211-223.

Lahtinen P., Jokinen M., Leino P. 2005. Turpeen energiakäytön asema Suomen energiajärjestelmässä. Kauppa- ja teollisuusministeriö, 97 s. ISBN 951-739-880-8.

Raiko R., Saastamoinen J., Hupa M. & Kurki-Suonio I., Poltto ja Palaminen, toinen täydennetty painos, International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 2002, ISBN 951-666-604-3, 750 s.

Sandholm E., Lappeenrannan tekninen yliopisto, energiatekniikan koulutusohjelma, kandidaatintyö 25.10.2010. Turpeen käytön tulevaisuus Suomessa, 38 s.; Virtuaalisuo 2007; Puhakka, I.

Vasander H. (toim.), Suoseura ry:n julkaisu Suomen suot, Gummeruksen kirjapaino Helsinki 1998, 168 s. ISBN 951-97826-0-5.